輪作制度中綠肥田菁的角色與功能

王鐘和　丘麗蓉

行政院農委會農業試驗所

前言

綠肥作物是綠色植物整體或植體之部份於幼嫩期或成熟期供翻犁掩埋入土壤中當作肥料及改善土壤理化性質之作物。綠肥作物生長期間可吸收土壤養分(豆科綠肥更可固定空氣中氮素於植物體)，減少養分之淋洗及土壤之流失，並可抑制田間雜草之生長。當其被翻犁掩埋則可釋出其所含之營養元素及分解較慢之纖維質、木質素，可增加土壤肥力及改善土壤理化性質，有益於作物生長，提高產量。

適宜本省栽培之綠肥作物包括豆科或非豆科，常見之豆科綠肥有:田菁、太陽麻、紫雲英、虎爪豆、大豆、埃及三葉草等，非豆科綠肥則有:油菜、蕎麥、蘿蔔等。又可依其生長季節分爲春夏季綠肥(播種時期 3~8 月)如太陽麻、田菁、大豆、虎爪豆等，冬季綠肥(播種時期 10~11 月)則有紫雲英、油菜、埃及三葉草等。綠肥作物栽培容易而且生育期短，可利用兩主作物期間的空閒時期栽培。而綠肥作物之栽培以豆料之肥效較佳，蓋豆科根瘤可固定空氣中游離氮素蓄儲於植體中，並含有多量有機物，補給土壤中之腐植質。

據資料顯示，本省光復前後綠肥栽培總面積廣達二十一萬多公頃，其中田菁約有 8 萬 8 千多公頃居第一，大豆約有 4 萬 6 千多公頃居次。唯在追求提高農業經營利潤，實行集約耕作制度下，非爲現金作物之綠肥作物漸不受重視與被接納，迄民國七十六年全台灣綠肥栽培總面積不到 1 萬公頃，而綠肥田菁僅剩下約 900 公頃。綠肥栽培之式微直接影響到本省耕地環境與品質的惡化。有鑑於此，前省農林廳即積極提倡種植夏作綠肥田

菁，以減少地力之過度消耗，業已獲致初步成效，民國八十年栽植綠肥田菁之面積已增至約 4 千 5 百公頃。前省農林廳 1999 年推動合理化施肥措施計畫書中指出 87 年度推廣綠肥作物之面積有：油菜 75,075 公頃、埃及三葉草 13,795 公頃、田菁 26,530 公頃、苕子 11,300 公頃，計 126,750 公頃，其他未在輔導之列而自行栽培綠肥作物之農田亦有不少，顯示現今農友對農田地力之維護及綠肥之功能已有相當體認。

田菁為一優良之綠肥作物(圖 1)，蓋其栽培容易，能適應本省春、夏作高溫多濕之生長環境及適宜本省各種土壤質地栽培，且生長勢強、生育短期間能生產大量之有機質，對雜草抑制效果大，對土壤有覆蓋保育作用，而其固氮效率佳，提供作物所需氮素來源，故其對土壤改良及後作增產效果顯著。

圖 1.綠肥田菁適宜本省夏季高溫多濕之環境生長

本省輪作制度中綠肥田菁之角色

本省中南部稻田推行玉米轉作，以第二期稻作轉秋作玉米爲宜，蓋第二期稻作收量顯著低於第一期作而玉米收量則以秋作顯著高於春作故。若將兩期稻作全部轉作玉米則恐消耗地力太大而且對於病蟲害之防治亦屬不利。惟當第二期稻作決定轉作秋玉米時自第一期作水稻收穫至玉米播種約有兩個月(即七、八月) 期間，時值颱風季節，高溫多濕，除小部分稻田可栽培香瓜、蔬菜外，大部分並無適當作物可以栽培。夏作大豆雖爲試作探討之一個目標，但在颱風季節下其收益性能否穩定仍屬疑問。田菁雖非現金作物，卻很適合於該期間栽培，並預料可以防止雜草之叢生及對其後作有良好效果。據報告本省中南部各種模式之轉作年純收益依次爲：(1)春作高粱一宿根高粱一秋裡作玉米，(2)一期水稻一夏作田菁(即田菁中間作)一秋作玉米，(3)一期早稻一夏作瓜類一秋作玉米，(4)一期早稻一夏作大豆一秋裡作玉米，(5)一期水稻一二期水稻(對照)。亦有報告以(2)一期水稻一夏作田菁一秋作玉米之收益性爲最高者。可見一期水稻一夏作田菁一秋作玉米爲相當合適的特作模式。

又南部之輪作田原爲每三年可輪作 1 一 3 作不等之水稻，自推行稻田轉作後已大部份改爲不同旱作之輪作;最普遍之模式爲春作高粱一秋作玉米。而此種旱作連作常導致土壤酸化及有機質降低，致使土壤之生產力及作物產量低落。爲維持長期地力及提高作物產量，夏作田菁之插入對後作物產量及對地力之維持有良好之效果。惟傳統的耕作方法，夏作田菁係於秋作玉米播種前耕耘掩埋，土壤卻因該時期常遇驟雨吸收大量水分造成剛種植之玉米發芽率偏低，如尙未種植則常因而延誤玉米播種時期。反之，播種後之玉米，一旦天氣放晴則常因土壤乾旱而缺磷。爲免以上缺點，不整地栽培乃爲最佳方法。

所謂不整地栽培就是利用殺草劑殺除前作物及雜草，代替整地清除雜草之功能，而保留這些殘株於地面作爲敷蓋用。或用焚燒法清除田面前作物之殘株不需耕犁整地直接將作物種子植入適當之溝或穴中之一種耕作

方式。Moschier 與 Marthens(1975)、Jones 等(1968)均指出以不整地方式栽培玉米之產量顯著高於整地栽培者。

田菁不整地敷蓋與整地掩埋之比較

農業試驗所為長期土壤之保育與提高農家收益，自民國七十四年起研究發展轉作田玉米不整地田菁敷蓋省工栽培之技術：綠肥田菁種子於七月初，一期稻作收穫後以不整地方式撒播(如為春作旱作則需將殘體翻犁整平後撒播)，每分地種子量 3 公斤，不施用肥料，生長至九月中旬時田菁高度約 2 公尺左右(乾物重約 5．5 公噸/公頃，含氮素、磷酐、氧化鉀各約 120、20 及 70 公斤/公頃左右)。此項田菁可以用試驗期間研發出之多功能施肥播種機在不整地下壓倒，同時條施肥料、殺蟲劑及播種玉米，並噴殺草劑，如此被壓倒的田菁成為田面敷蓋(圖 2)。

圖 2. 農試所研製之圓盤切割式不整地施肥播種機田間種植之情形
(同時施肥, 播種, 條施殺蟲劑及噴施殺草劑)

應用此項技術，著者於霧峰農試所農場一處長期探討一期水稻一秋作玉米之輪作制度下夏作田菁及其耕耘方式對玉米生育、收量及氮肥需要量之效果，與對土壤理化性質及土壤肥力之長期影響，並於臺南縣玉米產區進行大面積田間試驗探討不同輪作田(一期水稻一秋作玉米及春作高粱-秋作玉米)栽植夏作田菁及其耕耘方式對秋作玉米產量，生產成本及氮肥效率之影響，以作為輪作田玉米栽培及氮肥施用之參考。部份結果如下：

一、田菁有無及耕耘方式對子實產量之影響

霧峰長期試驗顯示秋作玉米種植時夏作田菁之乾物量約達 5.7 公噸/公頃(1985-1993 九年平均)，其要素含量 N、P_2O_5、K_2O 分別為 125、23 及 78 公斤/公頃(表 1)，．而將此種田菁翻犁之掩埋區之子實產量雖高於整地無田菁區，但在高氮用量時差異不顯著，而採行不整地田菁敷蓋之栽培模式，玉米產量顯著地高於傳統之整地掩埋區及不整地無田菁區，即使在充足氮素用量下，亦是如此，顯示前者有氮素供給以外的效果(圖 3)。

表 1.水稻玉米輪作田夏作田菁之收量及要素含量(霧峰 1985-1993 秋作)

調查項目 Items studies \ 年度 year	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	平均 mean
收量(t/ha)										
生草	31	24	--	32	21	10	24	24	24	10~32
乾物	5.8	4.7	4.7	6.7	5.6	2.8	5.8	6.9	8.3	5.7
要素含有率(%)										
N	2.5	2.1	1.7	2.3	2.4	2.3	1.8	2.2	2.3	2.2
P	0.23	0.17	0.19	0.10	0.14	0.07	0.21	0.24	0.16	0.17
K	1.60	1.34	0.96	0.88	0.63	1.24	1.13	1.38	1.10	1.14
Ca	0.86	--	--	--	--	--		--	--	
Mg	0.088	--	--	--	--	--		--	--	
要素含量(kg/ha)										
N	142	100	80	154	134	64	104	152	191	125
P_2O_5	31	19	20	15	8	5	28	38	30	23
K_2O	110	75	54	71	43	42	79	115	110	78
CaO	70	--	--	--	--	--	--	--	--	--
MgO	8.5	--	--	--	--	--	--	--	--	--

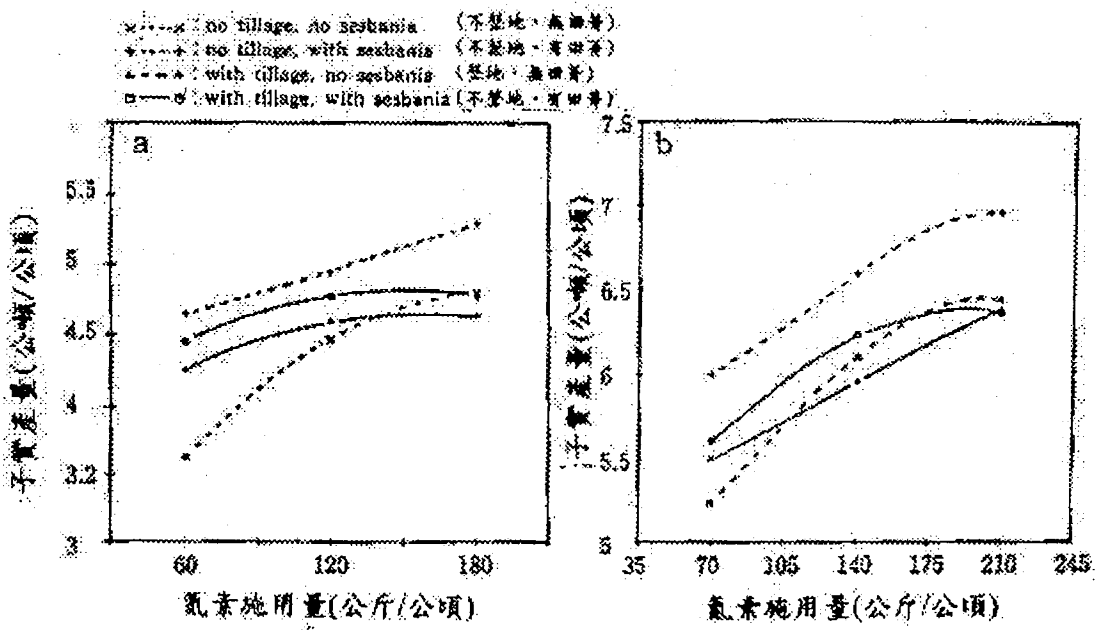

圖 3.水稻玉米輪作田夏作田菁之有否及玉米田之整地與否對玉米收量之效果(霧峰，a:臺農 351 號，1985-1998 秋作平均；b:臺農 1 號，1989-1993 秋作平均)

二、夏作田菁敷蓋不整地栽培區，具有較佳之土壤理化性質

一般探討綠肥作物之效果，較常討論綠肥掩埋入土壤中能提供氮素，故可減少後作物化學肥料之用量，而不整地栽培法則是利用殺草劑殺死綠肥及田間雜草作爲田面敷蓋，在無人爲破壞(耕犁)土壤結構之情形下，綠肥地上部敷蓋之量及地下部(根系)生長之情形，成爲影響土壤理化性質之重要因子，隨著田菁高度之增加，其乾物重呈顯著增加之趨勢，即作爲田面敷蓋量大幅增加，而值得注意的是，其根系在土壤構造較硬之農試所農場土壤，當田菁高度 3 公尺左右時穿透土壤深度可達 90 公分(圖 4)，而依現行玉米栽植密度計算每株玉米之立地面積(行株距 70cm x 25cm，57143 株/公頃)生長有約 9.5 株田菁，故田菁旺盛、深入土中且多量之根系，勢必影響土壤性質及後作玉米之生育。

圖 4.田菁株高約.3 公尺左右時，根系穿透密實土層達 90 公分深之情形

1.適當之粗孔隙率與較高有效水分

表 2 為第一期作水稻收穫後，經過七月初旬至九月初旬期間，田菁中間作或休閒後以整地和不整地兩種方式播植秋作玉米後之表層土壤粗孔隙率和易有效水分率情形。可見不整地區中無田菁中間作者(T_0G)，土壤相當密實，總體密度為 1.36，而粗孔隙率則僅及 5.2%。不整地區中有田菁中間作(T_0G)，則土壤之粗孔隙顯著增加為 13.8%，達到日本「地方增進基本指針」中所規範之標準。其易有效水分率亦較無回菁中間作者(T_0G_0)略有增加而達標準。Jones 等(1968)亦指出不整地區之有效水分高於整地

區。

整地區(TG$_0$)土壤之粗孔隙率雖較不整地區顯著增加，卻導致易有效水分率之降低(亦即粗孔隙增加，毛細孔隙卻降)，對於水分之保持或養分(尤其是磷)在土壤中之擴散不利。事實上，因秋作玉米初期天旱時，整地栽培之玉米較不整地者植體中之磷含量顯著的低，而有缺磷徵狀，雖然兩者均施 P_2O_5 90kg/ha 之基肥。整地區與不整地區土壤之有效磷測值並無差異之情形下發生上述玉米磷營養上之差異，顯然與土壤中易有效水分低，磷的吸收較難有關。

表 2.田菁中間作及整地與否對表土粗孔隙和易有效水分率之影響(1986 秋作)

處理區別 Treatments	粗孔隙(%) Porosity(%) at pF 1.5	易有效水分(%) Moisture (vol.%) between PF1.5&pF3.0	總體密度 Bulk density	總孔隙率(%) Total porosity
T$_0$G No-till(不整地、田菁敷蓋) Sesbania mulchecd	13.8	15.4	1.21	54.3
T$_0$G$_0$ No-till(不整地、無田菁) no Sesbania	5.2	14.5	1.36	48.7
TG$_0$ No-till(整地、無田菁) no Sesbania	28.5	12.2	1.02	61.5
The criteria in Japan	＞10	＞15		

2.土壤水分之保持較為穩定

圖 5 玉米種植後於 N120 公斤/公頃之試區埋設石膏塊以測量土壤水分狀態，深度為 20 公分。 由圖 5 中可知表層土壤整地區之水分張力值顯著的高於不整地區(T$_0$)，尤其是田菁掩埋區　，可能因掩埋田菁造成表土更疏鬆，水分散失快，張力值高於 2.5Bar，而根據整地區之根重調查，顯

示超過 90%之根分布在表層土壤，此種水分變動劇烈，不利於玉米吸收水分及養分(尤其是磷)， 即秋作玉米初期天旱時整地栽培之玉米較不整地者植體中之磷含量顯著的低。而田菁區與無田菁區之差異則較小。

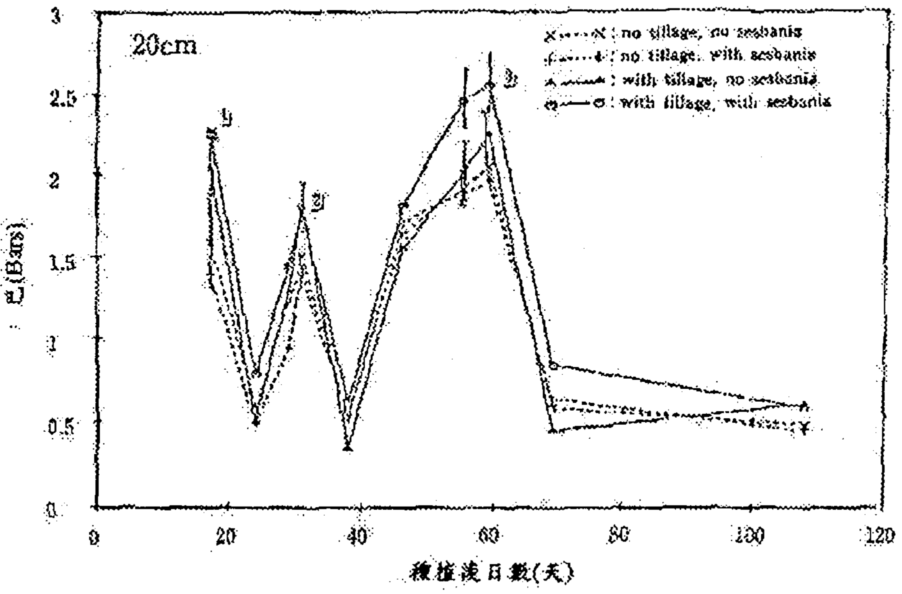

圖 5. 田菁中間作及整地與否對表土水分張力變化之影響(註 1，2，3 分別爲爲幼苗期 17DAP(days after planting)，膝高期 31 DAP，雄穗抽出期 59 DAP 分別爲灌溉日期，霧峰本所 1989 秋作)

3.旺盛而深入土中之田菁根系形成之根孔，使土壤具較高之入滲速率

前已撰敘田菁具旺盛之根系，及不整地田菁區較不整地無田菁區具較高之粗孔隙達 2.64 倍，此種物理性之改變必會影響其入滲速率。田間測定結果亦示，不整地無田菁區之入滲速率爲 1.40 公分/小時，而不整地田菁區測值則爲 2.25 公分/小時比無田菁區增加 61%，依據 Booker tropical soil Manual(Landon 1984) 之分級 < 2.0 公分/小時者屬中慢級，較適合水稻生長而不適於旱作生長。入滲速率之改變應有助於較密實土壤之通氣及表層土壤之迅速排水，即後作之玉米作較不易遭受浸水之傷害，及在通氣

良好之環境下根部有較高之活性，於收穫期挖取玉米之根系觀察，不整地田菁敷蓋區玉米有大量根系且爲白色，而田菁整地掩埋區則根系較小且呈黃色(圖 6)。

圖 6.整地與否及田菁有無玉米根系生長之情形(左 1 整地無田菁區；左 2 整地有田菁區；右 2 不整地無田菁區；右 1 不整地有田菁區，採樣時期爲玉米收穫時)

4.降低鹽分地表土置換性鈉含量及電導度值

表 3 爲玉米種植時之土壤置換性鈉、電導度及 pH 値，顯示不整地田菁敷蓋之表土顯著地具有較低之置換性鈉含量及電導度及 pH 測値，而整地田菁掩埋區則並無此種效果，又由收穫期之土壤分析資料顯示至收穫期時不整地田菁敷蓋區之置換性鈉仍顯著較不整地無田菁區低 ，此種情形可能爲不整地區因生產較多量田菁吸收大量鈉 ，且於玉米作內仍未大量釋放出來，以及大量之田菁根孔有助於土壤中之鈉移至深層土壤。

以上均利於玉米根系之發展及活性之維持，及水分及養分之吸收，使玉米生育良好，產量提高。

表 3.田菁後作玉米播種期土壤置換性鈉與電導度及 pH 值(臺南 1993 秋作)

地點	土壤深度	處理	置換性鈉 (mg kg^{-1})	指數	電導度(1:5) mmhos cm^{-1}	指數	PH (1:1)	指數
1	0- 15 (cm)	T G_0[2)]	123(6)[1)]	100	0.06(0.01)	100	7.85(0)	100
		T G	103(6)	84	0.05(0.01)	83	7.80(0)	99
		T_0G_0	301(74)	100	0.23(0.12)	100	7.75(0.05)	100
		T_0G	187(82)	62	0.06(0.03)	26	7.15(0.05)	92
	15-30 (cm)	T G_0	107(26)	100	0.04(0)	100	8.10(0)	100
		T G	149(29)	139	0.06(0.01)	150	7.95(0.05)	98
		T_0G_0	431(55)	100	0.21(0.05)	100	8.25(0.05)	100
		T_0G	182(82)	42	0.12(0.02)	57	8.25(0.5)	100
2	1- 15 (cm)	T G_0	243(41)	100	0.15(0.03)	100	7.85(0.05)	100
		T G	224(36)	92	0.22(0.09)	147	7.70(0)	98
		T_0G_0	236(25)	100	0.22(0.01)	100	7.80(0.10)	100
		T_0G	211(57)	89	0.15(0.05)	68	7.83(0.03)	100
	15-30 (cm)	T G_0	361(61)	100	0.20(0.04)	100	7.85(0.05)	100
		T G	416(72)	115	0.29(0.02)	145	7.68(0.08)	94
		T_0G_0	416(8)	100	0.29(0.04)	100	7.65(0.05)	100
		T_0G	392(17)	94	0.20(0.01)	69	7.7(0)	101

註 1：全部數據爲二重覆平均括弧內爲平均値之標準機差

註 2：location 1 T 區與 T_0 區相隔約 100 公尺

另外於臺南輪作區設置之試驗田因前作收穫後隨即整地有較長之時間產生礦化氮及田菁經掩埋迅速分解產生大量無機態氮素(表 4)，可供後作玉米吸收利用，如果農民仍施用大量肥料，夏作田菁掩埋幾無功效可言，圖 7 三處試驗田之平均顯示無田菁區需施 N120 公斤/公頃，才可得較高產量，而有田菁區僅施 60 公斤/公頃即足夠，可節省氮肥 60 公斤/公頃，約爲田菁氮素含量之一半。因此建議氮肥施用方式應作適當調整，盡量減少種植時基肥之氮素用量，而將大部份氮肥平均於膝高期及雄穗期施用，且應降低氮肥用量，約 60 公斤/公頃，以期有效地利用土壤中之氮素，避免污染環境。

表 4.田菁掩埋及玉米播種時土壤無機態氮含量(1993 秋作，學甲三處試區平均)

土壤深度	田菁有無	採 樣 時 間	
		田菁掩埋	玉米種植 [1]
0-15 (cm)	＋	24.7 [2]	69.9
	－	29.2	37.7
15-30 (cm)	＋	21.6	40.0
	－	23.6	19.5

註 1.爲田菁掩埋後 17 天，三處試區平均

註 2.全部數據係 2 重覆平均

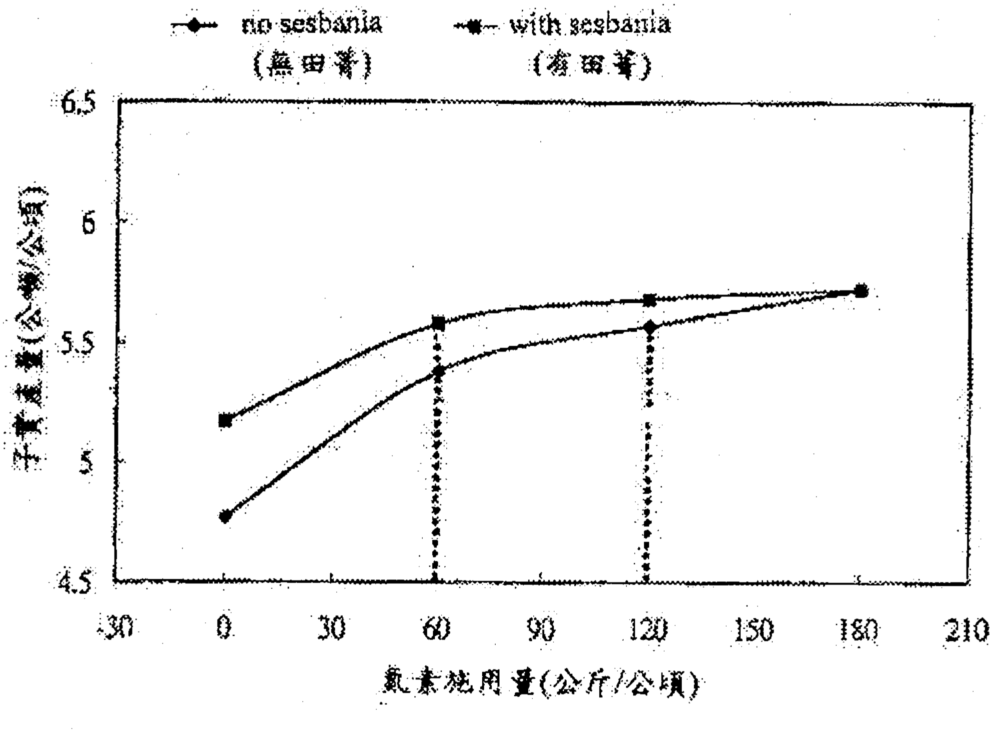

圖 7.田菁區與無田菁區不同氮肥用量下玉米子實產量之比較
(1993 秋作，學甲三處試區平均)

試驗資料也顯示採行玉米不整地田菁敷蓋之栽培模式，有益於玉米之氮素吸收及所吸收氮素之穀生產效率(NE；nitrogen efficiency)之提高，顯著增加子實產量，且節省整地、培土、肥料費用等生產成本，也提高農民收益。且能節省農機用油之消耗，避免污染環境，實爲一種優良之栽培模式。

結語

不整地田菁敷蓋方式雖爲一良好之栽培模式，但現階段此種栽培模式仍有蟲害較整地栽培嚴重之缺失，需加以注意及改進，才可能達實用及完善之境界。針對目前大部份採行田菁整地掩埋之耕作方式，一定要減少其後作之氮肥施用量，才能善用田菁之氮素含量。此外，耐鹽性高之田菁亦被建議在高複作、高施肥之農田(如蔬菜園)適當排入其輪作制度中，以吸收土壤中過度累積之營養鹽，當然其後作之肥料施用量也要適量的減少。總之，種植綠肥田菁除了有上述對土壤保育、防治雜草、提高作物生產、降低化學肥料使用量、減少環境污染等正效益外，一大片綠油油的綠肥田菁亦可使農村風光生色不少，提高生活品質。而採取省工耕作法之不整地敷蓋方式除使農家之收益增加外，更可減少農機用油之消耗，避免浪費能源及減少空氣污染。

主要參考文獻

1.九州(土壤與農業)編集委員會。1979。九州の土壌と農業。p.215－218。

2.王鐘和、連深。1992。綠肥田菁在轉作田輪作制度之應用。興農 283：30－33。

3.王鐘和。1993。輪作田玉米栽培技術及氮素營養管理。臺灣大學農業化學研究所博士論文。台北市。251 頁。

4.王鐘和、連深、洪崑煌。1994。輪作田夏作田菁及其耕耘方式對秋作玉米生育及子

實生產之影響。土壤肥料試驗報告專集。農林廳編印。P1－32。

5.王鐘和、連深。1996。高粱玉米輪作田不同耕耘方式與氮肥用量試驗。土壤肥料試驗報告專集。農林廳編印。P125－141。

6.連深、王鐘和。1988。田菁中間作與耕耘方式對水稻、玉米輪作田土壤理化性質及玉米生產之影響。中華農業研究 37(4)：416－423。

7. 連深、王鐘和。1991。夏作田菁在稻田輪作制度之應用－對土壤肥力及作物產量之效果。輪作制度對土壤肥力及作物之影響研討會論文專輯 p.111－128。